

cfMeshPRO – AUTOMATSKI GENERATOR MREŽE KONTROLNIH VOLUMENA

Cukrov, A., Lugarić, T. & Juretić, F.

Sažetak: Ovim radom je opisan računalni program *cfMeshPRO* koji omogućava automatsko generiranje mreža sastavljenih od proizvoljnih poliedara. Program se temelji na metodologiji koja omogućava brzo generiranje mreža na geometrijama kakve su prisutne u industrijskoj praksi. Navedeno je potkrijepljeno iznesenim primjerima.

Ključne riječi: računalna dinamika fluida, generiranje mreže, kompleksne geometrije.

1 UVOD

Numeričko rješavanje sustava parcijalnih diferencijalnih jednadžbi zahtjeva diskretizaciju prostorne domene, odnosno njenu podjelu na konačan broj kontrolnih volumena – mrežu. Versteeg i Malalasekera [1] navode kako na projektima vezanim uz računalnu dinamiku fluida (engl. *CFD*) se preko 50% vremena utroši na definiranje geometrije domene i generiranje mreže. Stoga je tvrtka *Creative Fields* razvila računalni program *cfMeshPRO* s ciljem maksimalnog pojednostavljenja procesa diskretizacije. U nastavku teksta opisan je princip rada programa, te su dani primjeri njegove uporabe na geometrijama kakve se pojavljuju u industrijskoj praksi.

2 ALGORITAM

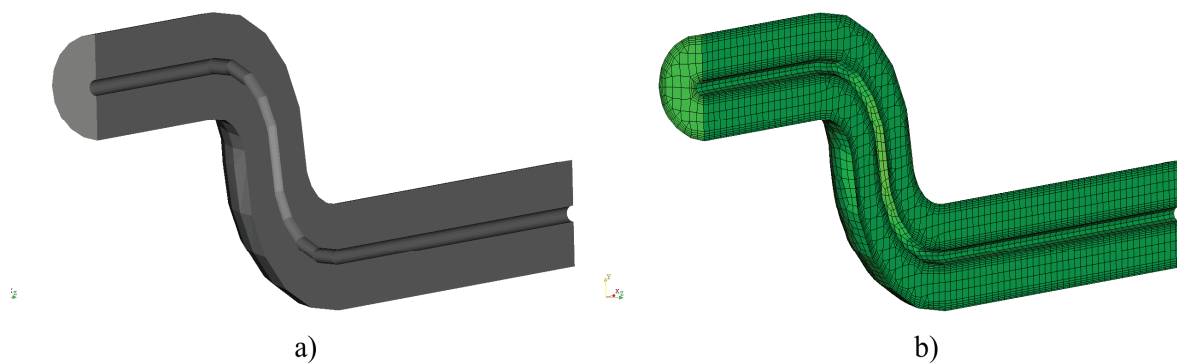
cfMeshPRO je automatski generator mreže koji generira poliedarske mreže metodom "iznutra prema van" (engl. *inside-out method*). Metoda "iznutra prema van" ne zahtjeva ulaznu geometriju visoke kvalitete, te tolerira prisutnost malih rupa, raspora i izbočina [2-7].

Minimum koji se zahtjeva od korisnika za generiranje mreže je definiranje *geometrije* i zadavanje *maksimalne veličine ćelija* unutar domene. Za daljnje profinjenje mreže na raspolaganju su različite mogućnosti rafinacije mreže o kojima se više informacija nalazi u [8-10].

Nadalje, izvorni kod programa *cfMeshPRO* izrađen je tako da omogućava jednostavnu implementaciju novih metodologija za generiranje mreža, te pruža mogućnost paralelizacije na jednom računalu (SMP – dijeljena memorija) ili koristeći više umreženih računala (MPI paralelizacija).

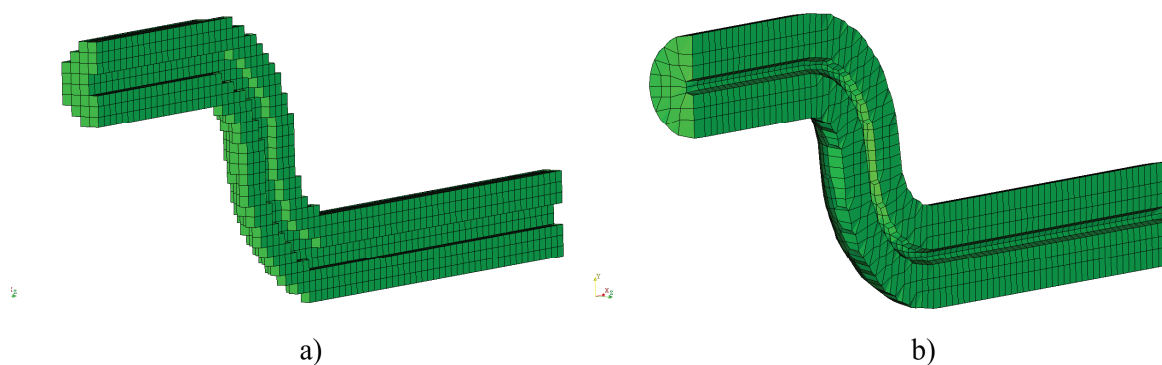
cfMeshPRO podržava generiranje mreža sastavljenih od proizvoljnih tipova ćelija. Trenutno implementirana metodologija generira Kartezijev tip poliedara u 2D i 3D, tetraedre i proizvoljne poliedre.

Postupak kojim *cfMeshPRO* generira mrežu koristeći metodu "iznutra prema van" objašnjen je na primjeru izrade mreže za analizu strujanja kroz koaksijalnu cijev prikazanu na Slici 1a, dok je konačna mreža prikazana na Slici 1b.



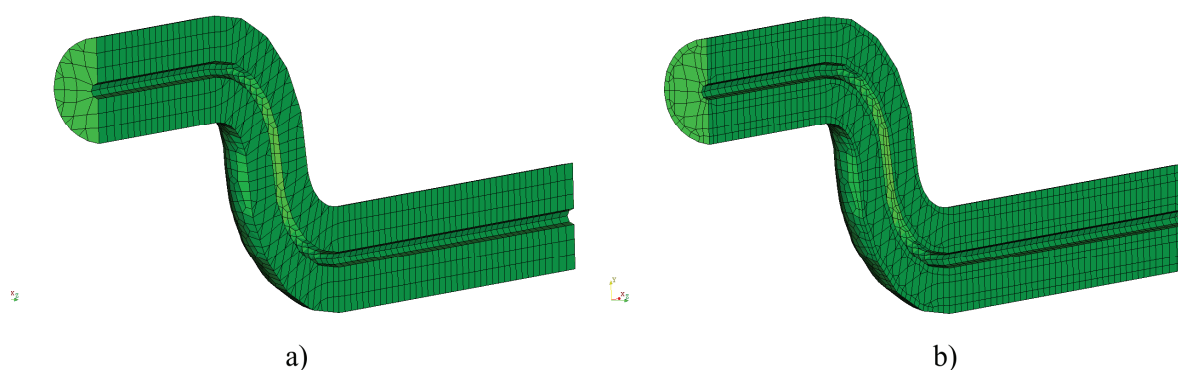
Sl. 8. Geometrija i diskretizacija modela koaksijalne cijevi

Metoda "iznutra prema van" polazi od predloška mreže koji je generiran iz okalnog stabla (engl. *octree*), te je prilagođen geometriji (Slika 2a). Nakon toga slijedi uklanjanje nepotrebnih stranica ćelija, te projiciranje predloška na geometriju (Slika 2b).



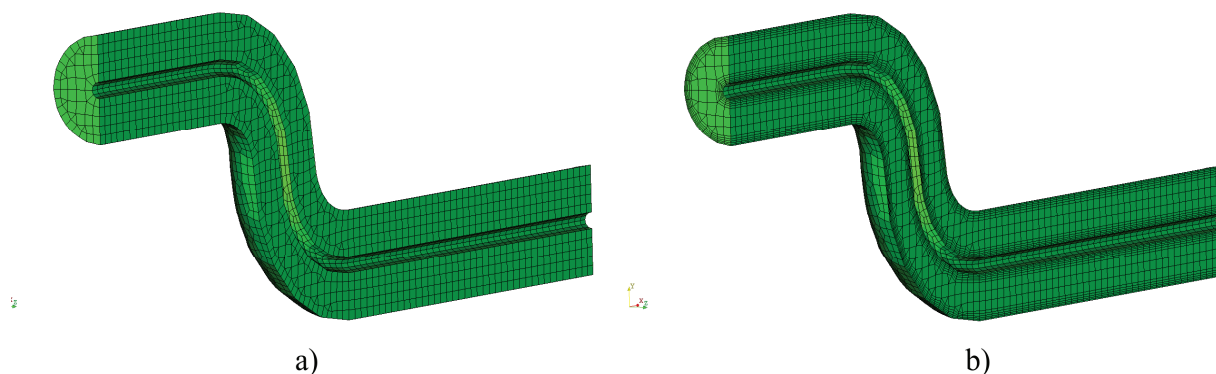
Sl. 9. Predložak mreže (a) i mreža nakon preslikavanja točaka sa predloška na geometriju (b)

Slijedi dodjeljivanje rubnih uvjeta (engl. *patch*), te definiranje bridova i uglova (Slika 3a). Zatim se generira jednoslojni granični sloj (Slika 3b).



Sl. 10. Mreža nakon definiranja bridova i uglova (a), te nakon generiranja podrazumijevanog jednoslojnog graničnog sloja (b)

Nakon toga, slijedi optimizacija kvalitete mreže bez izvršavanja topoloških promjena (Slika 4a). Zatim se izvršava profinjenje graničnih slojeva, te mreža dobiva oblik prikazan na Slici 4b.

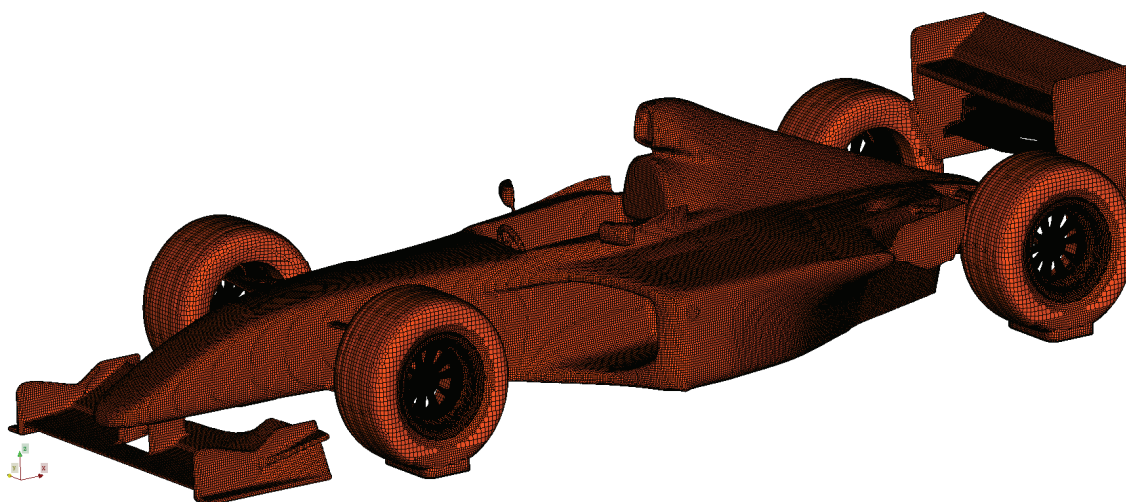


Sl. 11. Mreža nakon optimizacije (a). Mreža nakon rafinacije graničnih slojeva (b)

Ovom metodologijom moguće je vrlo brzo generirati mreže sa nekoliko milijuna ćelija na geometrijama kakve se pojavljuju u industrijskoj praksi. Korištenje programa *cfMeshPRO* za diskretizaciju realnih geometrija prikazano je u sljedećem poglavlju.

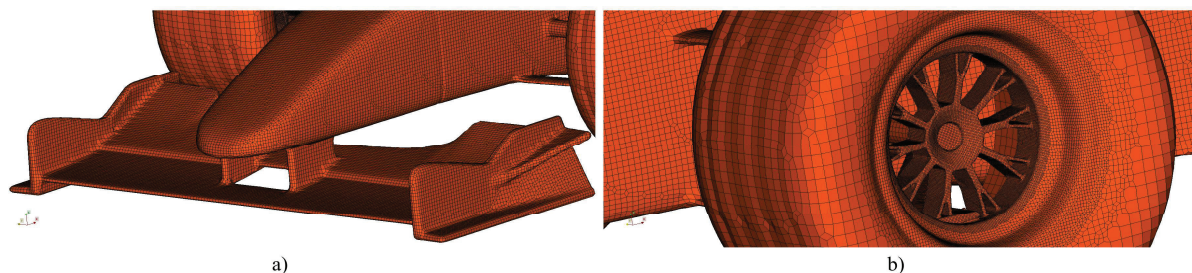
3 PRIMJERI

cfMeshPRO zahtijeva geometriju u trianguliranom formatu (*fms*, *ftf* ili *stl*). Na Slici 5 prikazan je detaljni model bolida Formule 1 koji je diskretiziran koristeći *cfMeshPRO*.



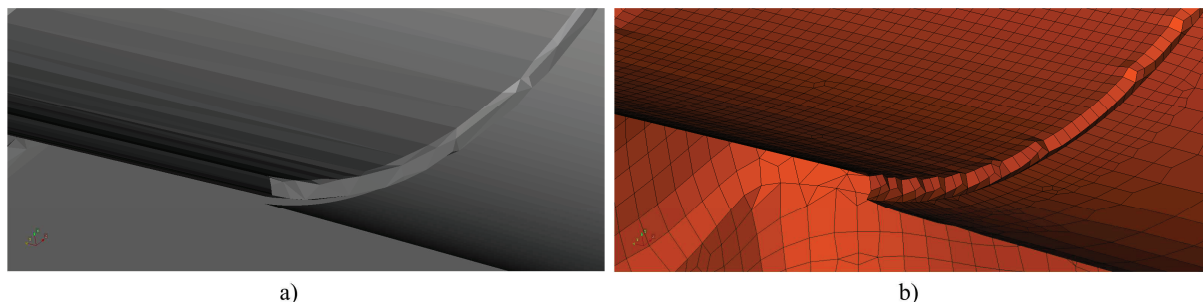
Sl. 12. Površina volumenske mreže za analizu bolida; prilikom izrade mreže naglasak je stavljen na uzimanje u obzir svih detalja koji dolaze s modelom

Slika 6 detaljnije otkriva diskretizirano područje prednjeg spojlera (Slika 6a), te prednjeg lijevog kotača (Slika 6b).



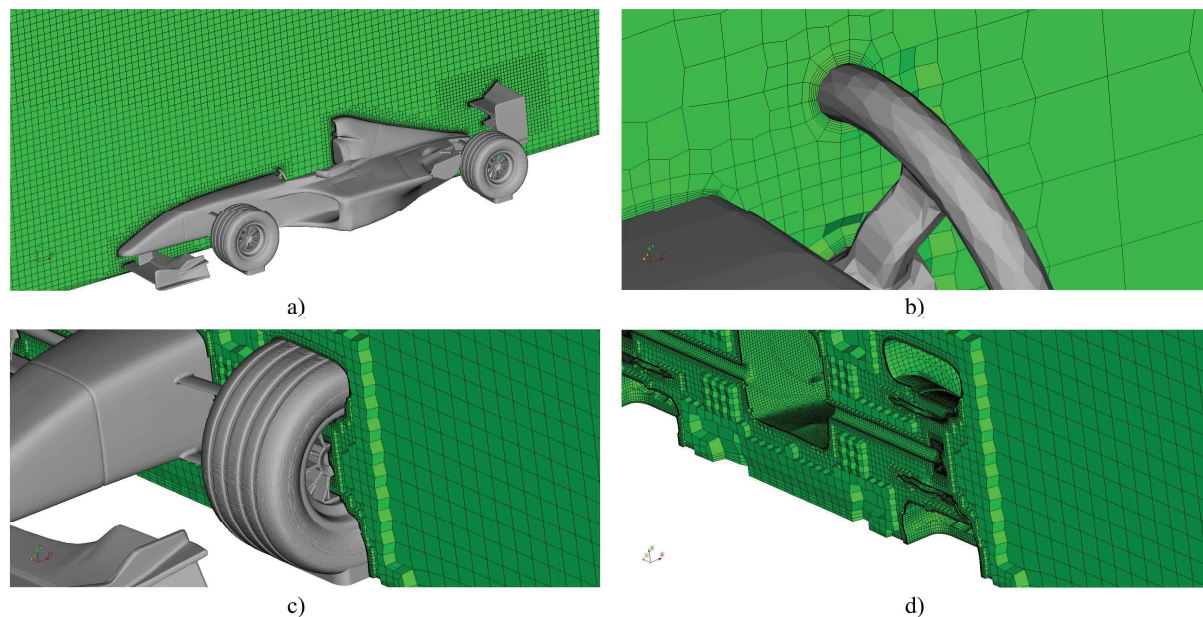
Sl. 13. Detaljniji prikaz površine volumenske mreže na prednjem spojleru (a); Diskretizirani prednji lijevi kotač (b)

U 2. poglavlju je navedeno kako *cfMeshPRO* ne zahtjeva visoku razinu kvalitete geometrije u svrhu izrade mreže. Tako na stražnjem kotaču gdje je prisutan mali raspor zbog kojeg geometrija nije zatvorena (Slika 7a), ukoliko je odabrana veličina ćelija na području raspora veća od samog raspora, raspor će biti zatvoren (Slika 7b).



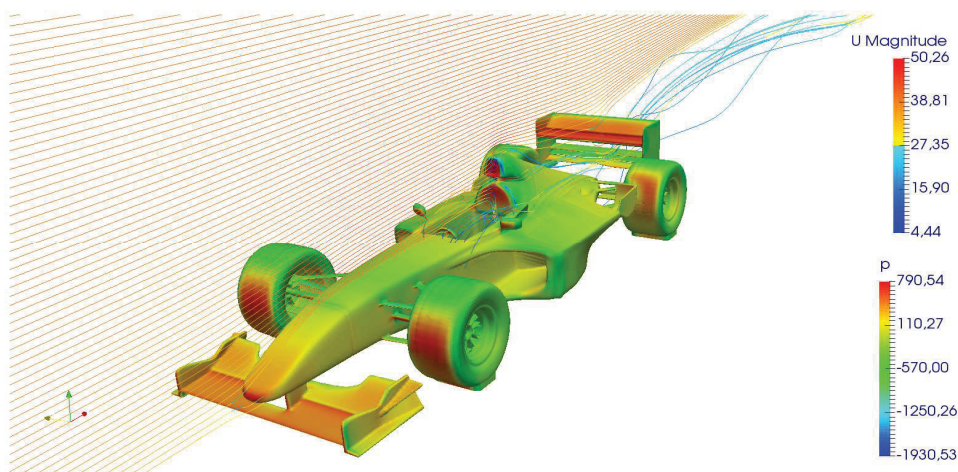
a) b)
Sl. 14. Postojanje malog raspora u originalnoj geometriji (a) *cfMeshPRO* efikasno rješava

Slika 8 otkriva detalje generirane volumne mreže. Uočavaju se rafinacijske zone na stražnjem spojleru (Slika 8a), ali i prisutnost graničnog sloja na cijelog geometriji.



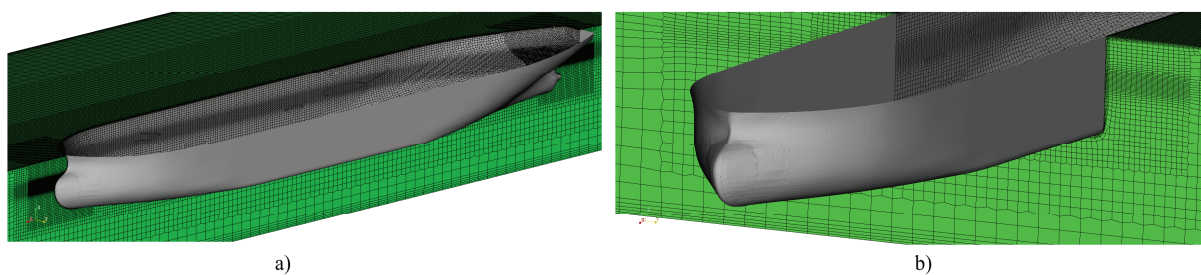
a) b) c) d)
Sl. 15. Volumna mreža neposredno uz bolid (a). Granični slojevi su generirani na cijeloj geometriji uključujući i zakrivljene male dijelove poput volana (b). Volumna mreža u blizini kotača (c-d); *cfMeshPRO* pri vizualizaciji mreže prikazuje čitave ćelije.

Važno je naglasiti kako *cfMeshPRO* generira granične slojeve koji sadrže prizmatične ćelije što je nužno za proračun gradijenata i otpora koji nastaju u graničnom sloju uslijed strujanja. Izvršena numerička simulacija (Slika 9) pokazuje valjanost generirane mreže za izvršavanje proračuna. Više detalja se nalazi u [10].

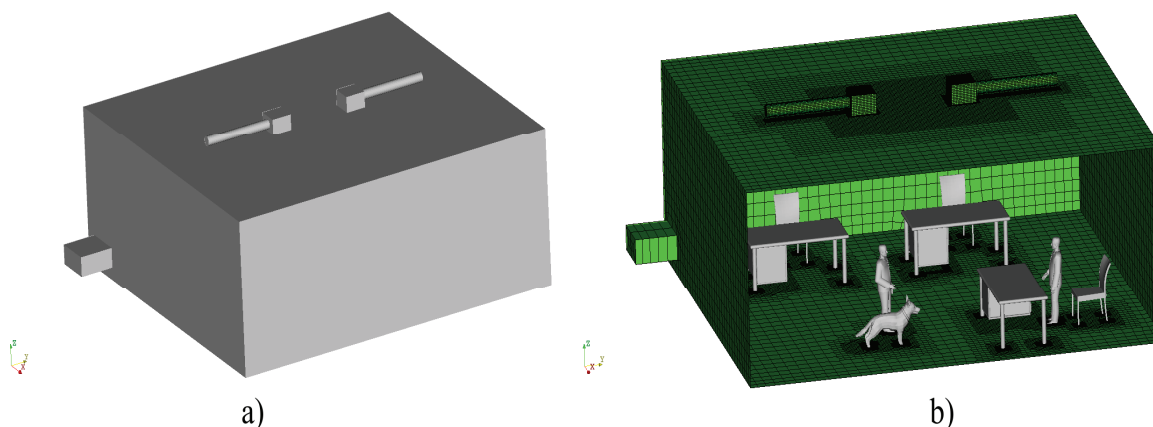


Sl. 16. Rezultat proračuna na generiranoj mreži. Kao što je očekivano, područja okomita na smjer glavnog strujanja imaju najveći otpor oblika.

Slika 10 prikazuje primjenu programa *cfMeshPRO* za analizu hidrodinamike broda. Pritom je područje slobodne površine obuhvaćeno anizotropnim ćelijama.

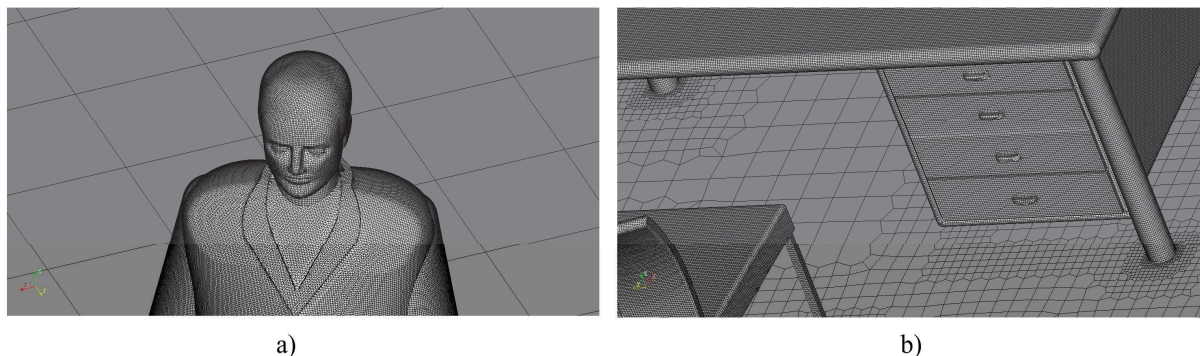


Sl. 17. Mreža za analizu hidrodinamike broda



Sl. 18. Analizirana prostorija (a). Pogled na geometriju u presjeku (b) pri čemu je zadržana mreža na zidovima, te ulazima i izlazima iz domene.

Slika 11 prikazuje primjenu *cfMeshPRO*-a u termotehnici. Na vrlo jednostavan način moguće je diskretizirati domenu koja sadrži više kompleksnih elemenata (Slika 12).



Sl. 19. Diskretiziran model čovjeka (a), te diskretiziran uredski namještaj (b)

4 ZAKLJUČAK

Radom je predstavljen računalni program *cfMeshPRO* koji služi za brzu i jednostavnu diskretizaciju prostornih domena. Program se temelji na metodi "iznutra prema van" zbog čega može raditi sa geometrijama niske kvalitete. Iznesceni primjeri pokazuju primjenu programa za diskretizaciju geometrija kakve se pojavljuju u industrijskoj praksi.

Literatura

- [1] Versteeg, H.K., Malalasekera, W., *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*, Pearson Education Limited, 2007.
- [2] Lahur, P.R., Hashimoto, A., Murakami, K., Automatic Grid Generation Method with Direct Treatment of Defective STL Data, *Proceedings of the 20th International Meshing Roundtable*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2011, pp. 71–75.
- [3] Owen, S.J., Staten, M.L., Sorensen, M.C., Parallel Hex Meshing from Volume Fractions, *Proceedings of the 20th International Meshing Roundtable*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2011, pp. 161–178.
- [4] Schneiders, R., Bünten, R., Automatic generation of hexahedral finite element meshes, *Computer Aided Geometric Design*, Vol. 12, 1995, pp. 693–707.
- [5] Wang, Z.J., Srinivasan, K., An adaptive Cartesian grid generation method for 'Dirty' geometry, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Vol. 39, 2002, pp. 703–717.
- [6] Zhang, Y., Qian, J., Dual Contouring for Domains with Topology Ambiguity, *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.*, Vols. 217-220, 2012, pp. 34–45.
- [7] Juretić, F., An inside-out method for arbitrary polyhedra, *Research Notes Proceedings of the 23rd International Meshing Roundtable*, London UK, 2014, pp. 1-5.
- [8] Juretić, F., *cfMesh User Guide*, Creative Fields, Zagreb, 2015.
- [9] Cukrov, A., *Quick Start With cfMeshPRO*, Creative Fields, Zagreb, 2016.
- [10] Cukrov, A., Juretić F., Automatic Hex-Dominant Mesh Generation for CFD Analysis of Formula One Car with cfMeshPRO, Technical report, Creative Fields, Zagreb, 2016.

Autori:

Alen Cukrov, Tomislav Lugarić i Franjo Juretić, Creative Fields d.o.o., X Vrbik 4, HR-10000 Zagreb, e-mail: alen.cukrov@c-fields.com, tomislav.lugaric@c-fields.com i franjo.juretic@c-fields.com